This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Eng
498
79

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Eng 478.79

Digitized by Google

Digitized by Google

SUR LA CONSTRUCTION

DE LA

RÈGLE GÉODÉSIQUE INTERNATIONALE.

Digitized by Google

Extrait des *Annales de l'École Normale supérieure*, 2e série, t. VIII, 1879.

Digitized by Google

SUR LA CONSTRUCTION

DE LA

RÈGLE GÉODÉSIQUE

INTERNATIONALE,

PAR

MM. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE ET É. MASCART.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1879

Digitized by Google

Harvard College Library
June 28, 1915.
Gift of
Mrs. Charles S. Peirce

Eng 498.79

Digitized by Google

SUR LA CONSTRUCTION

DE LA

RÈGLE GÉODÉSIQUE INTERNATIONALE,

PAR MM. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE ET É. MASCART.

Mémoire lu par M. H. Sainte-Claire Deville à la Réunion de l'Association géodésique internationale à Hambourg, le 5 septembre 1878.

La mission que vous avez bien voulu me confier, de faire fabriquer en platine iridié la règle géodésique internationale, serait aujourd'hui tout à fait remplie, si je n'avais cru devoir répondre à votre confiance par un travail complet sur les propriétés physiques et chimiques de cette règle et par la recherche d'une méthode capable d'en déterminer la permanence ou la variation avec le temps.

La partie physique et chimique de ce travail est terminée : je vais vous en rendre compte tout d'abord.

La règle géodésique a été préparée par MM. Johnston, Matthey, de Londres, avec du platine et de l'iridium purs. Les métaux ont été fondus ensemble un grand nombre de fois. L'homogénéité parfaite du lingot a été constatée par des déterminations nombreuses de densité et des analyses dont les résultats ont toujours été concordants, sur quelque point de sa masse qu'aient été prélevés les échantillons.

Digitized by Google

Voici les détails de cette fabrication, donnés par M. G. Matthey lui-même :

« Le platine et l'iridium qui entrent dans la composition de cette règle ont été préparés par les procédés de MM. H. Sainte-Claire Deville et Debray ; ils ont été, préalablement à leur fusion, analysés dans leur laboratoire.

» On procéda à la fonte des matières en opérant chaque fois sur

Platine.....	450 onces.
Iridium.....	55 »

» Cinq lingots ainsi préparés furent coupés en petits fragments au moyen de la presse hydraulique. Ces fragments furent ensuite fondus ensemble dans le même fourneau et longtemps maintenus à l'état liquide par le feu du gaz de l'éclairage et de l'oxygène.

» Le nouveau lingot fut forgé (la panne du marteau-pilon et l'enclume étaient en acier poli et constamment frottés), puis laminé; les lames, bien décapées, furent encore fondues dans un four parallélépipédique et donnèrent une masse métallique paraissant très-homogène, sans aspérités, sans crevasses, tout aussi bien sur le fond que sur les côtés et à la surface. Après un premier forgeage, on obtint une barre de 35 centimètres de longueur, de $7^c,5$ de largeur et de $2^c,5$ d'épaisseur, qui pesait

Dans l'air.....	$15^{kg},105$
Dans l'eau à 70 degrés F.....	$14^{kg},405$

ce qui donne une densité à zéro de 21,522.

» Un tiers de la barre fut coupé, et les deux autres tiers, forgés et fortement écrouis, avaient les dimensions suivantes : 95 centimètres de longueur, $2^c,5$ de largeur et 2 centimètres d'épaisseur.

Le barreau pesait dans l'air.....	$10^{kg},814$
Dans l'eau à 60 degrés F.....	$10^{kg},315$

Sa densité à zéro était de 21,648 (1).

» Le barreau fut laminé sous des cylindres polis et amené à très-peu

(1) Ces pesées ont été faites avec une balance d'une exactitude douteuse, avec des poids anglais et français dont il est difficile de répondre, ce qui explique un résultat aussi élevé, 21,648, qui n'est pas impossible, mais qui paraît cependant trop fort.

Digitized by Google

près à la dimension requise, 5 millimètres d'épaisseur sur 21 millimètres de largeur ($4^m,10$ de longueur). Enfin la forme parfaitement rectangulaire fut donnée à la règle en la faisant passer plusieurs fois à travers le même trou d'une filière en acier.

» A chaque passe on a recuit la règle à la plus haute température, au moyen d'un très-grand chalumeau à gaz alimenté par de l'oxygène, et on l'a fait passer plusieurs fois par le même trou de la filière, en la chauffant chaque fois, jusqu'à ce qu'elle n'y subît plus de pression et qu'elle n'acquît plus d'allongement sensible. Après chaque passe, soit sous le marteau-pilon, soit sous le laminoir, soit au travers de la filière, la matière, chauffée soit dans un grand moufle en platine, soit au chalumeau, était décapée par du borax fondu et de l'acide chlorhydrique concentré. »

Le platine iridié de la règle géodésique préparé par M. Matthey a été pour moi le sujet d'une étude attentive dont je donnerai les principaux résultats :

1° Un petit lingot fondu, pris dans la masse fondue, pesait

Dans l'air..... ...	$310^{gr},849$
Dans l'eau à 18 degrés. .	$296^{gr},424$

Sa densité à zéro est donc 21,508.

2° Une masse parallélépipédique pesait

Dans l'air.	$116^{gr},898$
Dans l'eau à 4 degrés. ..	$5^{gr},429$

Sa densité était donc 21,516.

Il en résulte que la matière, recuite à très-haute température, a repris sensiblement la densité du métal fondu.

3° Son analyse, faite sur deux échantillons pris aux deux extrémités de la règle, a donné :

	I.	II.
Platine.....	89,40	89,42
Iridium.....	10,16	10,22
Rhodium.	0,18	0,16
Ruthénium...	0,10	0,10
Fer.....	0,06	0,06
	99,90	99,96

Digitized by Google

On en déduit :

	Proportions.	Densité à zéro.	Volume.
Platine iridié à 10 pour 100..	99,33	21,575	4,603
Iridium en excès.	0,23	22,380	0,010
Rhodium.....	0,18	12,000	0,015
Ruthénium.....	0,10	12,261	0,008
Fer...	0,06	7,700	0,008
	99,90		4,644

Densité à zéro calculée d'après l'analyse I..... 21,510
Densité à zéro calculée d'après l'analyse II..... 21,515

qui concordent parfaitement avec les résultats des analyses.

En fabriquant un pareil alliage avec une telle pureté, M. Matthey a résolu un problème de métallurgie des plus difficiles et des plus compliqués. On ne peut s'imaginer, à moins qu'on ne connaisse dans tous leurs détails les procédés si pénibles employés à la purification de l'iridium et même du platine, combien il a fallu d'intelligence, de patience et de dévouement à la science pour réussir dans une pareille œuvre. C'est aussi au désintéressement de M. G. Matthey et de ses associés que nous devons d'avoir pu, les premiers, utiliser une matière dont, d'après M. Dumas, « la production enrichit l'outillage scientifique d'un alliage doué de propriétés précieuses ».

C'est aussi l'avis publiquement exprimé par un juge aussi sévère que bienveillant, M. Stas, le célèbre chimiste de Bruxelles, dont le suffrage a été un encouragement précieux pour les habiles fabricants de Londres. Si les membres de l'Association le permettent, je ferai parvenir à M. G. Matthey le témoignage de leur satisfaction.

L'alliage de la règle géodésique est beaucoup plus dur, plus résistant que le platine. Sa rigidité est telle qu'on ploie difficilement même une lame de 1 à 2 millimètres d'épaisseur. Il présente alors une parfaite élasticité; la lame ne se ploie que sous un grand effort, revient à sa position primitive, sans changement, à moins que l'angle sous lequel on l'a ployée ne soit un peu grand.

M. Phillips a bien voulu me donner l'expression numérique de ces effets, en déterminant le coefficient d'élasticité du platine iridié de la règle, coefficient qui est considérable, et sa limite d'allongement permanent.

Digitized by Google

Note sur l'élasticité du platine iridié, employé pour la fabrication de la règle géodésique.

La méthode que j'ai employée, et qui est fondée sur la théorie mathématique de l'élasticité (*Annales des Mines*, t. XV, 1869) est la suivante :

La durée d'une oscillation simple d'un balancier mû par un spiral théorique est

$$T = \pi \sqrt{\frac{AL}{M}}.$$

A, moment d'inertie du balancier;
L, longueur développée du spiral;
M, moment d'inertie de la section droite du spiral;
$M = EI$;
E, coefficient d'élasticité;
I, moment d'inertie de cette section droite, et

$$I = \frac{\pi d^4}{64},$$

d étant le diamètre du fil. On en tire

$$E = \frac{64 \pi AL}{d^4 T^2}.$$

Dans les expériences, le balancier était en laiton et le spiral en platine iridié.

$$A = 0,00001409718 7,$$
$$L = 1^m,282,$$
$$d = 0^m,00070553;$$

le diamètre d a été observé en treize points équidistants avec un micromètre de Froment.

On a eu, comme moyenne d'un grand nombre d'expériences,

$$T = 0^s,8181.$$

On en conclut

$$E = 21\,760\,000\,000.$$

La limite d'allongement permanent se tire de la formule

$$i = \frac{d\alpha}{2L}.$$

α, angle d'écartement, après lequel le balancier ne revient pas exactement a sa position primitive;
i, allongement proportionnel correspondant.

Digitized by Google

On a eu

$$\alpha = 60^\circ \text{ environ},$$

d'où

$$i = 0,0003 \text{ environ},$$

ce qui, sous ce rapport, classe cet alliage entre le platine, qui est plus déformable que lui, et l'or, qui l'est moins.

Les expériences ont été effectuées, sous ma direction, par M. Rozé, répétiteur à l'École Polytechnique.

H. Phillips.

Il en résulte qu'une règle de platine iridié soutenue par ses deux extrémités ne fléchira, relativement à son poids et à sa longueur, que sous l'influence d'un poids considérable suspendu à son milieu, mais qu'elle ne reviendra plus à sa position primitive si la flèche est un peu forte. Néanmoins, pour la déformer d'une manière permanente, il faudrait un effort considérable.

MM. Brunner frères, qui ont soumis la matière de la règle géodésique à un grand nombre d'actions mécaniques, m'ont communiqué les résultats de leurs observations.

Paris, ce 27 août 1878.

Monsieur,

La division de la règle géodésique, que nous faisons pour l'Association géodésique internationale, est terminée depuis quelques jours.

Nous avons pensé que vous ne seriez pas mécontent d'apprendre que cette opération a parfaitement réussi, et que c'est au métal que nous attribuons la facilité avec laquelle nous avons pu l'exécuter.

Le platine iridié de M. Matthey est incontestablement supérieur au platine ordinaire, pour la confection des règles divisées. Il est exempt de ces pailles qu'on rencontre toujours dans ce dernier, et se laisse polir au charbon. On peut, sans danger, enlever les rébarbes des traits et les conserver très-beaux. Le platine ordinaire ne peut être poli qu'au papier à émeri, et l'on est toujours exposé à gâter la division quand on procède à l'ébarbage. C'est là un inconvénient très-grave.

Nous ne pouvons que vous remercier, Monsieur, d'avoir mis à notre disposition un métal qui modifie singulièrement les difficultés qu'on rencontre dans la fabrication d'une règle géodésique, et nous vous prions de recevoir l'assurance de nos sentiments les plus distingués.

Brunner frères.

Digitized by Google

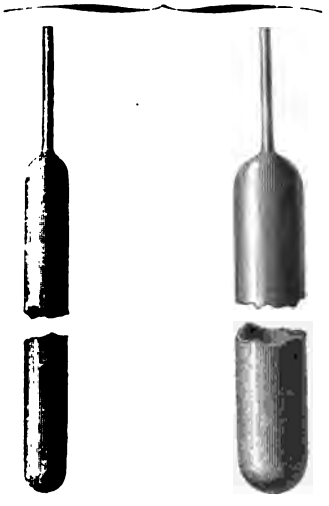
M. Mascart, professeur au Collége de France, successeur de Victor Regnault, possédant ses instruments et ses méthodes, a bien voulu s'associer à moi pour faire le travail dont je vais donner à l'Association les premiers résultats. C'est donc en son nom et au mien que je vais parler désormais.

Coefficient de dilatation.

D'après ce qu'on a vu au commencement de cet exposé, M. Matthey a partagé le lingot de platine préparé pour la règle géodésique en deux parties inégales. Les deux tiers de ce lingot ont été employés à la fabrication de la règle. Quant à l'autre tiers, il a été travaillé par le laminage et la soudure autogène, sous la forme de deux cylindres creux de 1 millimètre d'épaisseur, d'une longueur de $1^{m},06$ environ et de diamètres différents.

Chacun de ces cylindres est fermé à ses extrémités par deux calottes sphériques (*fig.* 1), et l'une de ces calottes est terminée par un tube capillaire en platine iridié de 50 millimètres de longueur.

Fig. 1.



Le diamètre extérieur est de 36 millimètres pour l'un de ces tubes, et de $19^{mm},04$ pour l'autre. Toutes ces dimensions, pouvant subir de légères modifications à la suite des épreuves auxquelles les tubes devaient être soumis, n'ont pas été déterminées avec une grande précision.

Digitized by Google

MM. Brunner ont tracé sur ces deux cylindres deux traits équidistants, séparés par une longueur très-voisine du mètre des archives.

L'un d'eux est destiné à servir de témoin temporaire pour la comparaison. Il est maintenu, sur des supports à roulettes, dans une auge à double paroi montée sur le chariot d'un comparateur (*fig.* 2).

Une seconde auge semblable, placée sur le même chariot, reçoit le plus gros (T) des deux tubes, celui sur lequel doivent porter les expériences. Le chariot permet de faire passer successivement sous deux microscopes fixes les traits tracés à égale distance sur les deux tubes cylindriques.

Les microscopes, montés sur des piliers solides, permettent de déterminer dans chaque expérience les longueurs comprises entre les deux traits de chaque tube, d'où l'on peut déduire le coefficient de dilatation de la matière.

Ce comparateur a été construit avec le plus grand soin par MM. Brunner frères.

Le problème que nous nous sommes posé n'est pas simple. C'est pour cela, et à cause de la difficulté du sujet, du long temps qui s'écoulera encore avant que le travail soit terminé, que nous allons décrire non-seulement nos appareils construits, les résultats déjà obtenus, mais aussi nos appareils en construction et nos projets mêmes, afin que nous puissions recevoir les critiques et les conseils de tous les membres de l'Association et même de tous les savants qui, en dehors d'elle, s'occupent de métrologie.

Notre intention est d'abord de déterminer le coefficient de dilatation du platine iridié de la règle géodésique avec une grande précision et ensuite de transformer en témoin permanent l'un des tubes (le tube T) construits avec la matière de cette règle. Un pareil tube témoin pourra servir en tout temps pour constater si cette matière n'a pas subi, par suite d'une action moléculaire, une modification qui impliquerait un changement de longueur de la règle géodésique, et pour déterminer alors la variation de cette longueur.

Nous nous occuperons d'abord du coefficient de dilatation de la règle géodésique, et nous examinerons successivement les différentes parties de l'opération.

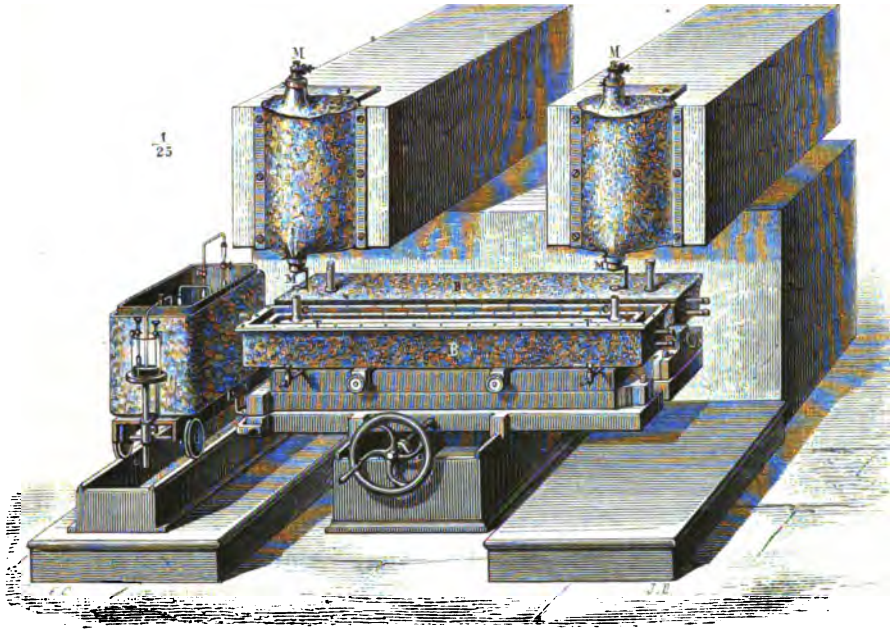
1° *Détermination des longueurs.* — Notre comparateur est composé

Digitized by Google

de trois pierres calcaires supportées par un massif de béton de plus de 2 mètres d'épaisseur.

La pierre (¹) qui sert de base a une longueur de $1^m,65$, une largeur de $0^m,60$ et une épaisseur de $0^m,75$.

Fig. 2.



Deux autres pierres, celles qui supportent les microscopes, ont pour longueur $1^m,10$, pour largeur $0^m,50$ et une épaisseur de $0^m,45$.

Les microscopes portent d'excellents micromètres que MM. Brunner

(¹) MM. Brünner ont eu l'idée de remplacer les pierres par des blocs de fonte. Nous croyons l'idée excellente, surtout si l'on coule ces blocs creux et qu'on les remplisse constamment de glace en les entourant de feutre. Les grosses pierres ne peuvent qu'au bout d'un temps considérable se mettre jusqu'au centre à la température ambiante, et ne doivent jamais être en repos. D'ailleurs, en employant les phénomènes de chaleur latente pour porter à une température invariable et les instruments et les matières à mesurer, on peut entretenir dans les salles d'observation une fraîcheur agréable pendant l'été, et pendant l'hiver une température douce, sans s'astreindre, comme on l'a proposé et appliqué sans succès, à maintenir une grande salle à une température constante, hiver et été, au grand détriment de la santé des observateurs.

Digitized by Google

ont bien voulu nous prêter. Les divisions du tambour donnent directement le micron et permettent d'en estimer le dixième.

Au-dessous des microscopes se meut un chariot qui porte les deux auges où reposent sur des galets roulants les tubes de platine iridié.

Chacune de ces auges est composée d'une double boîte à faces rectangles dont les parois supérieures sont formées par des couvercles vissés un peu écartés l'un de l'autre, l'augette intérieure étant d'ailleurs fixée solidement à l'auge extérieure.

Celle qui contient le petit tube (t) de platine doit seulement recevoir de la glace : le tube est entouré d'un manchon de cuivre rouge percé de trous, destiné à supporter le poids de la glace, et le tout est enfermé dans l'augette centrale, fermée de son couvercle, de sorte que le tube est refroidi par deux enveloppes concentriques remplies de glace.

Le gros tube (T), de 1 litre environ de capacité, est enfermé de la même manière dans une auge plus grande, portée sur le même chariot.

Les auges sont percées de deux trous par lesquels passent deux tubes, soit en caoutchouc, soit en fer, avec fermeture hydraulique au mercure, qui isolent complétement les traits et permettent d'introduire dans l'auge soit de la glace, soit la vapeur d'un liquide en ébullition, sans que la glace, l'eau ou cette vapeur puisse toucher le trait. C'est par cette ouverture, dont on éclaire le fond avec la lumière sur un miroir, qu'on peut viser les traits des tubes. La largeur des traits est de 5 à 7 microns, et les microscopes grossissent 40 à 50 fois.

Le gros tube, soigneusement jaugé et rempli d'azote pur, doit être porté successivement à des températures croissantes, depuis le point de fusion de la glace jusqu'au point d'ébullition de l'eau, en faisant pénétrer la glace ou les vapeurs de liquides convenablement choisis dans les cavités comprises entre les différentes parois de l'auge.

Ce tube communique avec un manomètre et sert de thermomètre à air; sa température est donnée par une pression ou par un poids de mercure. En comparant la distance de ses deux traits avec celle des traits du petit tube témoin t constamment maintenu dans de la glace, on a tous les éléments nécessaires pour calculer le coefficient de dilatation de la matière.

Ces déterminations pourront toujours être contrôlées d'une manière absolue et à un moment quelconque, si l'on a le moyen de retrouver le millimètre qui a servi aux mesures; nous verrons plus loin comment

Digitized by Google

la longueur de ce millimètre sera comparée à la longueur de l'onde d'une lumière homogène.

Jaugeage du tube thermométrique en platine iridié.

Nous nous sommes servis, pour cette opération, d'une balance de M. Deleuil père, balance dont s'est servi V. Regnault pour exécuter ses travaux sur la thermométrie. Nous l'avons fait ajuster de telle manière que la sensibilité fût maximum quand chaque plateau était chargé de 5 kilogrammes. Pour toutes les opérations auxquelles nous avons employé la balance, cette charge a été maintenue constante. Dans ces conditions, la sensibilité était telle que l'addition de 1 milligramme était accusée par une déviation de l'aiguille égale en moyenne à 12,5 des unités que nous avons adoptées, de sorte qu'on pouvait apprécier très-facilement le dixième de milligramme.

La sensibilité dans une balance est une qualité facile à obtenir. Ce qui fait le défaut de presque toutes les balances, au moins de celles que nous avons eu l'occasion de manier (instruments construits cependant par les plus habiles artistes de l'Europe), c'est le manque de concordance dans les pesées d'une même matière. Nous entendons par là la différence qui existe entre deux pesées d'un corps, après qu'on les a corrigées de la poussée de l'air, même lorsque les expériences ont été faites à des époques rapprochées.

Ces différences proviennent de diverses causes. Il en est une qui ne peut être évitée, c'est celle qui est due à la distribution inégale des températures sur les deux bras du fléau. On n'écartera cette cause d'erreur que si l'on effectue les pesées dans une enceinte à température rigoureusement constante, et par conséquent entourée de glace. Cette disposition exige aussi que l'enceinte soit vide d'air. Une balance pesant dans le vide et à zéro est un instrument indispensable pour les opérations précises de métrologie, et nous en parlerons plus loin. Nous en avons commandé une; mais, en attendant qu'elle soit exécutée, il nous a fallu utiliser celle dont il vient d'être question, et qui nous a donné des résultats d'une exactitude plus que suffisante pour déterminer le coefficient de dilatation de la règle géodésique.

Pour qu'une balance plongée dans l'air, dont la température varie peu et lentement, soit insensible aux variations de la température et

Digitized by Google

de la pression atmosphérique, il faut nécessairement que ses plateaux aient le même poids et le même volume, ce qu'il est facile de réaliser. Mais, ce qui est plus difficile à obtenir, ce sont des fléaux dont la forme soit exactement symétrique par rapport au centre de gravité. Ce défaut se manifeste surtout dans les fléaux évidés, ceux, par exemple, qui portent des trous circulaires. Il suffit que les centres de ces trous ne soient pas, de part et d'autre, à une même distance du couteau central, pour que la balance devienne sensible, à la même température, aux changements de pression accusés par le baromètre.

La seule manière de corriger cette cause d'erreur consiste dans la multiplicité des pesées. Il faut, de plus, que les poids marqués ou les tares, présentant rigoureusement le même volume extérieur, soient, autant que possible, de même nature ([1]).

En répétant les pesées soir et matin, observant et inscrivant avec les poids marqués la hauteur du baromètre, la température et le point de rosée, on obtient une série de nombres que l'on traduit par une courbe ou par une formule empirique.

On prend pour une des variables le poids de la matière, pour l'autre variable la pression atmosphérique, diminuée des $\frac{3}{8}$ de la force élastique de la vapeur d'eau hygrométrique et du produit de la variation de température par $2^{mm},78$. Ce dernier produit doit être ajouté à la pression ou en être retranché, suivant que la température est inférieure ou supérieure à la température de comparaison. La pression ainsi calculée est proportionnelle à la densité de l'air. On obtient ainsi la loi des variations de la balance avec l'état atmosphérique et la modification qu'on doit faire subir aux poids pour les ramener à une même densité de l'air dans deux séries de pesées de deux matières diffférentes.

Ainsi, quand nous avons pesé le tube de platine iridié vide d'air, ce qui a duré plusieurs mois, nous avons étudié la loi de la variation du poids P de ce tube avec la densité de l'air exprimée par la formule

([1]) Deux autres causes très-fréquentes de l'inconstance dans une balance viennent : 1° de ce que les poids, placés sur des parties différentes d'un même plateau, ne produisent pas le même effet sur le fléau. On corrige ce défaut en plaçant sur les plateaux et à la partie inférieure de ceux-ci deux pointes. On change la place des poids sur le plateau jusqu'à ce que ces deux pointes soient toujours l'une au-dessus de l'autre.

Souvent aussi la balance, mise au repos, puis en mouvement, ne donne pas deux fois de suite la même déviation de l'aiguille. Nous ne connaissons pas de remède à ce défaut fréquent.

Digitized by Google

$b_0 - \frac{3}{8}f - (t - t_0)\,2{,}78$, t_0 étant la température de comparaison et $2^{mm},78$ la hauteur de mercure qui produit le même changement de densité de l'air qu'une variation de température de 1 degré. Nous avons établi ainsi la fraction de milligramme dont augmente ou diminue le poids placé sur la balance, quand cette somme $\varpi = b_0 - \frac{3}{8}f - (t - t_0)\,2{,}78$ diminue ou augmente d'une unité.

On divise ensuite la somme de tous les poids par le nombre des pesées, on fait de même la moyenne de toutes les pressions réduites et l'on obtient ainsi pour la première pesée, celle qui donne le poids du tube, un certain nombre p de kilogrammes et de fractions de kilogramme correspondant à une pression ϖ parfaitement déterminée.

On remplit d'eau ce même tube, on enlève de la balance un certain nombre de poids dont la densité est connue, dont l'étalonnage est irréprochable et, en effectuant des pesées analogues pendant le même temps, les accompagnant des mêmes observations météorologiques, on obtient, par la même méthode, un poids p' à une pression ϖ'. On peut alors ramener par le calcul les poids du tube plein et du tube vide à ce qu'ils seraient s'ils avaient été effectués à la même pression ϖ, c'est-à-dire si les conditions de pression, d'humidité et de température avaient été invariables pendant toute la durée de l'opération.

Ainsi nous avons taré notre tube vide d'air, et il avait gardé le vide d'une manière absolue pendant trois ou quatre mois; il l'aurait gardé indéfiniment. Nous avons observé, puis calculé la variation moyenne de la tare, composée de poids en laiton de densité connue, parfaitement étalonnés entre eux et comparés avec le kilogramme de l'Observatoire dont il sera question plus loin.

Nous avons ensuite rempli le tube d'eau maintenue à zéro et vide d'air pendant huit jours, enlevant à l'état de vapeur, qu'on absorbe par la potasse, l'eau qui dépassait l'extrémité du tube capillaire, et nous l'avons replacé sur la balance. La nouvelle pesée, prolongée pendant le même temps et corrigée de la même manière, nous a donné le chiffre suivant :

Eau à zéro contenue dans le tube..... $1^{kg},0388122 7$

Une seconde opération, faite dans les mêmes conditions, a donné

$1^{kg},0388126 9$,

ce qui fait une différence de $0^{mgr},42$ entre les deux pesées.

Digitized by Google

Le kilogramme adopté comme unité dans ces opérations est le kilogramme de l'Observatoire, « kilogramme conforme à la loi du 18 germinal an III et présenté le 4 messidor an VII », signé « de Fortin ». Son volume est $48^{cc},5333$ à zéro.

Le kilogramme employé dans les pesées a été le kilogramme de Regnault, en laiton, dont le volume est $124^{cc},65$ à zéro. Son équation dans le vide est

$$\text{kilog. Obs.} = \text{kilog. Regnault} - 7^{mgr},32.$$

Les poids divisionnaires sont de MM. Collot frères [1]; ils sont en laiton platiné. Leur volume total à zéro est 125 centimètres cubes, correspondant à une densité égale à 8, ou plus exactement 7,998. La boîte se compose d'un poids de 500 grammes et de ses subdivisions jusqu'au gramme. Chacun des poids de cette boîte a été comparé au poids de 500 grammes pris pour unité, lequel a pour équation, par rapport au kilogramme de l'Observatoire,

$$\text{kil. Obs.} = 2 \times 500^{gr} + 12^{mgr},41 \text{ [2]}.$$

Il faut remarquer que, dans le cas où les poids marqués et les matières à peser présentent exactement le même volume, toutes les variations des pesées tiennent uniquement aux imperfections de la balance : quand les volumes sont inégaux, comme par exemple lorsque nous avons enlevé l'eau contenue dans le tube et que nous y avons fait le vide, les variations sont dues d'abord au changement de densité de l'air, puis aux imperfections de la balance. On a déterminé celles-ci fort exactement; quant à la variation apparente des poids, on l'élimine en ramenant les pesées à ce qu'elles seraient dans le vide, c'est-à-dire en ajoutant à la valeur de chaque poids le poids du volume d'air qu'il déplace dans chaque expérience.

On peut souvent annuler toute influence des poids excédants sur la

---

(1) Ils sont désignés dans nos cahiers de procès-verbaux sous le nom de *poids de la boîte* A.

(2) Nous avons fait toutes les comparaisons nous-mêmes; mais elles ont été recommencées par M. Broch avec une excellente balance de M. Sacré. Les petites différences qui existent entre nos résultats et ceux de M. Broch nous donnent une grande confiance dans cet étalonnage. Mais nous avons admis, sans les modifier, les chiffres donnés par M. Broch, comme devant inspirer plus de confiance que les nôtres.

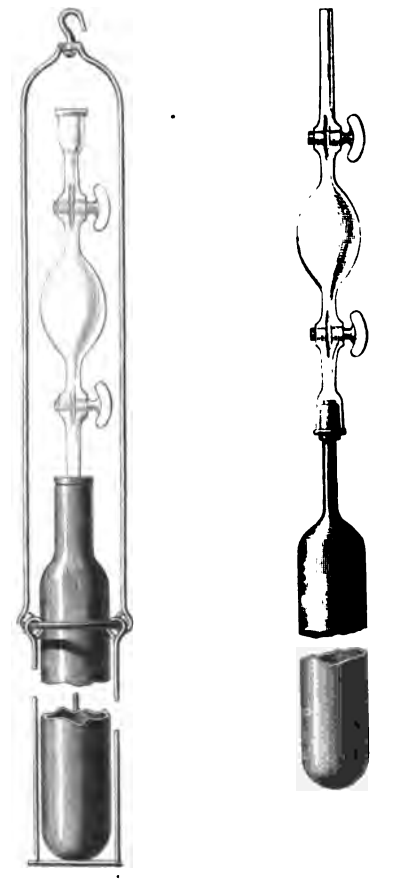
Digitized by Google

pesée, en mettant du côté de la tare des poids en laiton et de petits barreaux d'aluminium, de manière que le volume total soit exactement le même pour les deux plateaux. Cette correction est surtout facile quand on a surchargé la balance par des poids additionnels pour atteindre une somme de 5 kilogrammes.

Voici maintenant comment nous avons opéré pour vider et remplir le tube (T) de platine iridié.

Nous avons, au moyen d'un petit tube conique de caoutchouc, adapté

Fig. 3.

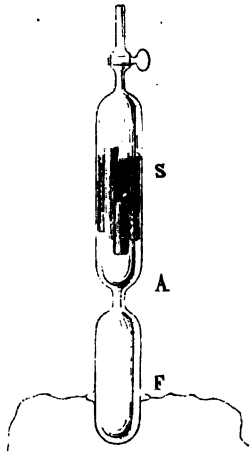


à la partie supérieure du tube capillaire une boule de verre (*fig.* 3) à deux robinets qui nous permet d'y faire le vide, d'abord avec une

Digitized by Google

machine de Geissler, ensuite avec une trompe de Sprengel. Pour nous assurer de la perfection avec laquelle l'air est enlevé au bout de huit à dix jours de fonctionnement, nous avons adapté à la pompe un petit appareil dessiné dans la *fig.* 4 : c'est un tube de verre étranglé en A,

Fig. 4.



rempli de sélénium à sa partie supérieure S pour retenir les vapeurs de mercure et traversé par deux fils de platine F séparés à l'intérieur par un intervalle de $\frac{1}{2}$ millimètre. Quand l'étincelle d'une bobine ne passait plus au travers du tube, nous considérions le vide comme parfait. Le bruit de marteau d'eau produit par le choc du mercure sur lui-même, l'absence de toute bulle visible sortant de l'appareil de Sprengel ne sont pas des signes suffisants de la perfection du vide. Quand tous ces caractères existent depuis longtemps, les décharges de la bobine donnent encore dans l'obscurité une lueur qui met plusieurs jours à disparaître par le fonctionnement de la pompe.

La pompe de Sprengel est incontestablement la meilleure des machines pneumatiques; mais elle agit fort lentement, à cause de la petitesse du volume compris entre les globules de mercure qui remplissent la fonction de piston.

Dans un pareil vide, où l'étincelle ne passe plus, le radiomètre ne doit plus avoir de mouvement.

Digitized by Google

Détermination de la température.

Il n'existe aucun moyen direct d'apprécier même grossièrement la température d'un corps solide. Les thermomètres à mercure, posés sur sa surface, n'en donnent qu'une notion confuse. Un thermomètre placé dans ces conditions subit bien l'influence du corps solide, mais il subit aussi celle des courants d'air qui l'entourent et le rayonnement de la surface du verre qui en constitue le réservoir; on peut même assurer qu'un thermomètre noirci et un thermomètre à boule argentée, placés simultanément sur un même corps solide, n'indiqueront pas la même température, à moins que toutes les parties de l'enceinte vers lesquelles le rayonnement se produit ne soient aussi rigoureusement à cette même température (1).

Cette dernière condition ne peut être remplie par nos moyens actuels que si l'enceinte est entourée de glace ou d'une vapeur saturante maintenue à une pression invariable.

Quant au thermomètre à mercure lui-même, nous pensons que son emploi doit être exclu de toutes les expériences de micrométrie rigoureuse. Le verre est une matière qui subit des transformations continues. Ordinairement, quand on détermine le 100e degré entre deux observations du zéro, celui-ci s'est déplacé d'une manière sensible. On ne s'en aperçoit pas toujours, parce qu'un thermomètre qui possède une échelle continue depuis zéro jusqu'à 100 degrés est en général trop court pour que de petites variations y soient nettement appréciables. Le coefficient de dilatation du verre doit changer aussi avec les variations de forme, ce qui entraîne nécessairement une modification dans les rapports des volumes apparents de mercure qui définissent les degrés thermométriques.

Le verre, en effet, se conduit comme la cire à cacheter, comme une matière pâteuse : il ploie avec le temps sous son propre poids, et se déforme manifestement sous l'influence de la pression atmosphérique,

(1) L'Académie des Sciences de Paris avait mis au concours la question de déterminer la température d'une masse gazeuse. Cette question a dû être retirée, personne n'en ayant trouvé la solution. Le thermomètre-fronde paraît donner les meilleurs résultats.

Digitized by Google

surtout quand il constitue les parois d'un vase vide d'air. Cette tendance à la déformation produit alors une élévation du point zéro, laquelle devient plus facile encore par une faible élévation de température qui augmente la viscosité du verre.

Ainsi trois thermomètres vides, construits par M. Baudin avec un soin et une perfection inconnus avant lui, ont été soumis pendant trois ans, nuit et jour, à des températures constantes : le premier était porté à 266, le second à 206, le troisième à 166 degrés. Au bout de ce temps, le zéro du premier thermomètre avait monté de 13°,5, le zéro du second avait monté de 12°,5, et le zéro du troisième s'était élevé à 11°,4.

Chacun de nous est arrivé de son côté à cette conclusion qu'un thermomètre est un instrument qui a une individualité propre et que, dans une expérience de contrôle, il ne peut être remplacé par aucun autre semblable. On doit donc reconnaître que les expériences thermométriques faites avec le thermomètre à mercure, à de longs intervalles, ne sont pas rigoureusement comparables entre elles.

Le thermomètre à alcool est préférable, parce que la dilatation de l'alcool est de beaucoup supérieure à celle du mercure et que, par suite, l'influence des variations de structure et de dilatation du verre y est moins perturbatrice. La même remarque s'applique à plus forte raison au cas où la matière thermométrique est un gaz, comme l'air, ou mieux l'azote qui n'attaque pas le mercure.

En effet, les coefficients de dilatation cubique du verre, du mercure, de l'alcool et de l'air sont entre eux comme les nombres

26	pour le verre	1
180	pour le mercure	7
1049	pour l'alcool	40
3667	pour l'air	142

Or on ne sait jamais quelle est au juste la loi de dilatation du verre que l'on emploie, ni son degré d'uniformité, tandis que pour le mercure et l'alcool on connaît très-bien même le coefficient du troisième terme de la formule parabolique par laquelle on représente la dilatation. Rien ne serait plus facile que de graduer les thermomètres à alcool en les plongeant dans de la vapeur d'eau à pression déterminée,

Digitized by Google

ou dans des vapeurs d'alcool pur, d'éther, d'éther chlorhydrique, tous corps faciles à obtenir et à conserver dans un état de pureté absolue, et dont on déterminerait les points d'ébullition au moyen du thermomètre à air. Un thermomètre à alcool coloré par des traces d'orseille est un instrument fort commode à employer, et il serait ainsi plus exact que le thermomètre à mercure, mais moins que le thermomètre à air, parce que la dilatation de l'air est bien plus grande que celle de l'alcool. Seulement il faudrait avoir soin que sa tige tout entière plongeât dans le milieu dont on veut prendre la température.

On évite bien des erreurs de lecture en se servant du thermomètre à alcool. V. Regnault en recommandait l'usage. Gradué comme nous venons de le dire et employé avec précaution, un pareil thermomètre n'aurait aucun inconvénient et il présenterait l'avantage que le déplacement du zéro y est insensible.

Toutefois, l'un quelconque de tous ces instruments appliqué sur une règle métallique n'en donnerait pas encore la température.

La règle placée dans l'air y possède autant de températures différentes qu'il existe de filets d'air en mouvement, par suite des variations continues de la température du gaz, ces variations ne cessant que si l'enceinte est entourée de glace ou d'une vapeur saturante.

La règle placée dans l'eau y subit des influences de même nature, moins sensibles à la vérité, mais dont les effets ne peuvent être mesurés; or, dans les expériences de micrométrie, tout ce qui n'est pas susceptible d'une mesure exacte ne peut recevoir d'application.

La seule ressource qui nous reste pour connaître la température d'un corps solide est d'en faire le réservoir d'un thermomètre. Encore faut-il que la matière thermométrique qu'on y renfermera ait une faible chaleur spécifique et que son poids soit négligeable par rapport au poids de l'enveloppe. Ces dernières conditions sont nécessaires pour que le thermomètre puisse être sensible, c'est-à-dire donner à tout instant la température moyenne de l'enveloppe, dans les cas où cette température est variable; alors même les variations ne doivent pas être trop brusques. Sous ce rapport, le corps solide transformé en thermomètre à air et plongé sous une faible épaisseur dans un liquide de grande densité et d'une forte chaleur spécifique, comme le mercure ou l'eau, sera dans d'excellentes conditions. Si l'on veut mesurer des variations lentes

Digitized by Google

de la température, il vaut mieux encore entourer le tube thermométrique d'une enveloppe peu conductrice, d'après la méthode indiquée par M. le baron Wrede.

Ce sont là les motifs qui nous ont déterminés à faire un tube avec le platine iridié de la règle géodésique et à le remplir d'azote comme matière thermométrique.

L'azote a été préparé avec de l'air que l'on a fait passer au travers de longs tubes de verre remplis de cuivre et chauffés au rouge; on a purifié ensuite le gaz au moyen de potasse monohydratée et sèche.

On déterminera la température du tube par l'augmentation ou la diminution du volume de cette masse confinée d'azote, en même temps que seront faites les mesures de l'espace compris entre les deux lignes tracées sur sa surface.

Voluménomètre à pression et à température constantes.

Pour mesurer l'azote sorti de notre tube de platine iridié, nous avons fait construire, par M. Alvergniat, un voluménomètre entièrement en verre, fondé sur ce principe que la masse de gaz qu'il contient peut toujours être ramenée à la pression d'une autre masse d'azote enfermé dans un espace absolument imperméable et parfaitement clos; cet azote, le vase qui le contient et le mercure qui est en contact avec lui, tout l'appareil enfin est toujours entouré de glace et par conséquent maintenu à une température constante.

Le voluménomètre se compose d'un tube en U (*fig.* 5), dont la portion M est remplie de gaz azote sec. Ce tube est surmonté d'un système de robinets qui servent à introduire le mercure et l'azote, et que l'on supprime après le remplissage; le tube M est alors fermé à la lampe dans sa partie effilée, au-dessous du robinet R′.

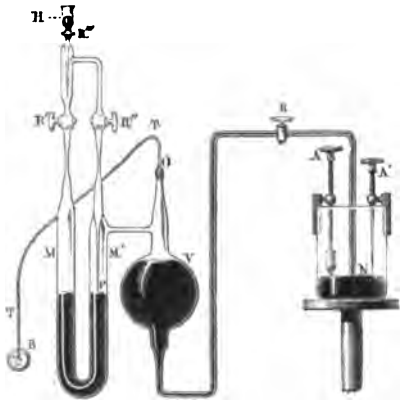
La partie inférieure de ce tube est remplie de mercure dont le niveau P est assujetti à toucher une pointe d'émail blanc faisant fonction de la pointe d'ivoire du baromètre Fortin. Ce tube doit être aussi fermé à la lampe au-dessus du robinet R″, qui sert, comme le robinet R′, au remplissage de l'appareil.

Le tube M′ communique lui-même par un tube horizontal avec un réservoir V dont la partie supérieure O est soudée à un tube fin de

Digitized by Google

1 millimètre de diamètre en platine; l'autre bout de ce tube pénètre à l'intérieur du tube capillaire situé à l'extrémité du cylindre de platine iridié qui sert de thermomètre à air et qui est placé dans l'une des auges du comparateur. Ce tube est désigné par la lettre T dans la figure. Il est soudé à l'or à la partie capillaire du cylindre de platine iridié.

Fig. 5.



La sphère V communique donc avec l'intérieur du tube M′ par le tube horizontal et avec le cylindre de platine iridié en B par le tube capillaire en platine T.

Enfin cette sphère V communique aussi par sa partie inférieure, et au moyen d'un tube de verre doublement recourbé, avec le mercure renfermé dans un vase de verre N. Elle est remplie de mercure, lorsque le cylindre-thermomètre, l'azote qu'il contient et tout le voluménomètre sont plongés dans la glace; son volume a été calculé de façon qu'elle puisse recevoir tout le gaz qui sortira du thermomètre par suite d'une dilatation à pression constante.

Un robinet R permet d'ouvrir ou de fermer la communication entre la sphère V et le mercure du vase N. Celui-ci est placé sur un plateau qui peut monter ou descendre au moyen d'une crémaillère; on peut ainsi, en changeant le niveau du mercure en N, faire entrer du mercure dans la sphère ou faire sortir du liquide, de manière à augmenter ou diminuer la pression de l'azote compris dans l'espace VO et le cylindre thermométrique, jusqu'à ce que la pointe P, observée au moyen d'une bonne lunette, soit parfaitement tangente à la surface du mercure.

Digitized by Google

Alors on est sûr que tout l'azote est ramené à la pression du gaz confiné en M.

A partir du robinet R, le voluménomètre tout entier, y compris le tube capillaire en platine T, est plongé dans la glace.

On comprend sans difficulté le maniement de cet appareil, dont la description sera plus détaillée dans la seconde partie de ce Mémoire. Ainsi le cylindre de platine étant placé dans la glace, aussi bien que le voluménomètre, on fait monter ou descendre le niveau du mercure au moyen de la crémaillère, et l'on achève l'opération à l'aide de petits plongeurs montés sur des vis A et A′, jusqu'à ce que la pointe P affleure la surface.

Alors on ferme le robinet R et l'on pèse le vase avec le mercure qu'il contient. Ce poids déterminé, on le remet sur le plateau, au-dessus de la crémaillère, dans la position qu'il occupait et comme il est représenté sur la figure.

Le voluménomètre est placé (*fig.* 2) dans une caisse en cuivre garnie à l'extérieur avec du feutre, comme toutes les parties de l'appareil dont on veut maintenir la température constante.

Cette caisse est posée sur un plateau à roulettes et entraînée par le chariot du comparateur. Elle est percée, à la partie inférieure, d'un trou qui laisse passer au travers d'un tube de caoutchouc, mince et étranglé dans sa partie moyenne, le tube capillaire en platine qui fait communiquer le thermomètre avec le voluménomètre. Une disposition très-simple, plus facile à imaginer qu'à décrire, permet à tous les organes de se rapprocher ou de s'éloigner de quelques millimètres, afin que les dilatations ou les contractions puissent s'effectuer sans aucun effort.

L'appareil étant à zéro et la pointe P tangente à la surface du mercure, on compare avec les microscopes les distances qui séparent les traits tracés sur les deux tubes, l'un, le cylindre-thermomètre ou gros tube en platine iridié, l'autre, petit cylindre témoin de même matière, tous les deux placés dans leur auge et plongés dans la glace.

On rouvre alors le robinet R, on laisse fondre la glace du tube thermométrique T, on la remplace par du feutre ou de l'édredon. Le gaz azote se dilate sous l'influence de la température ambiante. On mesure la température lorsqu'elle passe par un maximum ou un minimum, en

Digitized by Google

élevant ou abaissant le niveau du mercure dans le vase N, au moyen de la crémaillère ou des plongeurs A et A′, jusqu'à ce que la pointe P affleure la surface du liquide.

On ferme le robinet R, on détermine le poids du mercure entré dans le vase N, ce qui suffit pour calculer la température : on sait, en effet, quel est l'excès de poids du mercure qui correspond à une élévation de température de 1 degré. Dans notre appareil, ce poids est de 40 grammes environ.

Enfin on remet les deux traits du cylindre thermométrique T sous les microscopes, on compare leur distance à la distance comprise entre les deux traits du petit cylindre *t*, lequel a été maintenu à zéro, et l'on a tous les éléments nécessaires pour calculer la dilatation du platine iridié entre zéro et la température qui a été déterminée par l'instrument lui-même.

En répétant cette observation chaque jour, matin et soir, hiver et été, on peut obtenir la dilatation du platine iridié pour chaque degré ou pour telle fraction de degré que l'on désire.

La seule expérience que nous ayons pu réaliser encore avec cet appareil est celle qui devait précéder toutes les autres et qui nous a permis de démontrer la fixité absolue du point de fusion de la glace.

Pour cela, nous avons maintenu de la glace pendant plus de cinquante heures autour du tube thermométrique T, et naturellement autour du voluménomètre. La température est devenue fixe au bout de douze heures, ce que nous avons reconnu en fermant le robinet R du voluménomètre et constatant avec une bonne lunette que la pointe P restait toujours tangente à la surface du mercure, sans aucune variation appréciable, pendant plus de trente-six heures.

Cette fixité du point de fusion de la glace, dont quelques savants ont douté, s'obtient dans les conditions suivantes :

1° Il faut employer de la glace conservée pendant longtemps dans une glacière;

2° Il faut la concasser en fragments de la grosseur d'une noisette et la cribler, de manière à écarter tous les gros morceaux;

3° Il faut que le tube thermométrique soit enfermé dans deux enveloppes, comme celles de l'auge placée sur le comparateur, et que les deux enveloppes soient constamment entourées de glace.

Digitized by Google

Il faut bien se garder d'employer de la glace artificielle récemment préparée dans des bassins soumis à l'action d'une basse température, comme on le pratique aujourd'hui dans l'industrie. La température de cette glace n'est naturellement pas la même au centre et à la surface des morceaux, quelque petits que soient les fragments en lesquels on la divise.

L'auge du comparateur qui contient le tube thermométrique est percée de deux trous munis de tubulures qui pénètrent chacune dans les deux auges concentriques. Par l'une de ces ouvertures on peut faire pénétrer de la vapeur d'eau ou de tout autre liquide convenablement choisi dans la Table ci-dessous, et en particulier des matières marquées d'un astérisque, avec lesquelles nous nous proposons de graduer les thermomètres à alcool. Elles présentent l'avantage qu'on les trouve dans le commerce ou qu'on les purifie facilement.

Températures d'ébullition sous la pression atmosphérique d'après V. Regnault.

*Protoxyde d'azote	— 87,90
*Acide carbonique	— 78,20
Acide sulfhydrique	— 61,80
*Ammoniaque	— 38,5
Chlore	— 33,6
*Éther méthylchlorhydrique	— 23,73 + 0,030 (H — 760)
Éther méthylique	— 23,65 + 0,030 (H — 760)
Acide sulfureux	— 10,08 + 0,030 (H — 760)
*Éther chlorhydrique	+ 12,50 + 0,035 (H — 760)
Chlorure de cyanogène	+ 12,66 + 0,034 (H — 760)
Chlorure de bore	+ 18,23 + 0,038 (H — 760)
Éther	+ 34,97 + 0,039 (H — 760)
Éther bromhydrique	+ 38,37 + 0,039 (H — 760)
*Sulfure de carbone	+ 46,20 + 0,039 (H — 760)
Acétone	+ 56,30 + 0,037 (H — 760)
Chlorure de silicium	+ 56,81 + 0,041 (H — 760)
*Chloroforme	+ 60,16 + 0,037 (H — 760)
Esprit-de-bois	+ 66,78 + 0,033 (H — 760)
Chlorure phosphoreux	+ 73,80 + 0,044 (H — 760)
Chlorure de carbone C^2Cl^4	+ 76,50
*Alcool	+ 78,26 + 0,033 (H — 760)
Benzine	+ 80,36 + 0,040 (H — 760)

Digitized by Google

Températures d'ébullition sous la pression atmosphérique d'après V. Regnault (suite).

*Eau	+ 100,00 + 0,037 (H — 760)
Hydrocarbure de brome	+ 131,60 + 0,047 (H — 760)
Essence de térébenthine	+ 159,15
Éther méthyloxalique	+ 164,20
Essence de citron	+ 174,80
Mercure	+ 357,25 + 0,074 (H — 760)
Soufre	+ 448,00 + 0,080 (H — 760)

La vapeur d'eau, bien entendu, devra être employée pour vérifier les opérations et contrôler la valeur du coefficient de dilatation de l'azote.

Cette Table, dont les nombres sont empruntés au grand travail de V. Regnault, comprend des substances qui attaquent le caoutchouc. Dans ce cas, il sera nécessaire de remplacer les tuyaux de caoutchouc, qui permettent de voir les traits tracés sur le tube thermométrique T, par un tube de métal, avec une couche de liquide faisant fermeture hydraulique, pour clore l'espace où se meut la vapeur.

Calcul de la température et densité du mercure.

Quand on a pesé le mercure sorti de l'appareil par suite de la dilatation de l'azote maintenu à une pression invariable, il suffit de diviser ce poids par la densité du mercure à zéro, pour avoir la fraction dont a augmenté le volume de l'azote, en tenant compte de l'accroissement du volume du tube thermométrique qui correspond à l'augmentation de la distance comprise entre les traits.

L'ensemble de ces mesures permet de calculer la température et la dilatation du métal. Mais, en toute rigueur, il faut que la densité à zéro du mercure dont on se sert soit prise par rapport à celle de l'eau à zéro, puisque l'eau était précisément à cette température quand on s'en est servi pour jauger le tube thermométrique.

Le maintien prolongé des soudures de nos auges dans la glace ayant déterminé leur rupture, il a fallu démonter l'appareil, pour le faire réparer, et recommencer toutes les opérations préliminaires, qui sont beaucoup plus longues que les mesures définitives elles-mêmes. C'est

Digitized by Google

là ce qui explique pourquoi nous ne donnons pas encore d'expériences sur la dilatation de la règle géodésique internationale.

Densité du mercure.

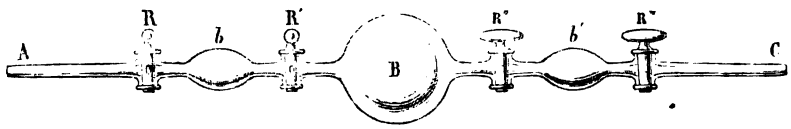
Il nous restait un certain doute sur les qualités de la méthode employée d'habitude, et en particulier par V. Regnault, pour déterminer la densité du mercure.

Si l'on prend un ballon de verre, qu'on le remplisse de mercure à zéro, après avoir fait longtemps bouillir ce liquide pour chasser l'air adhérent au vase; si, après la pesée du mercure, on remplit le même vase d'eau pure que l'on fasse bouillir et qu'on ramène à zéro, peut-on affirmer que le vase a repris à zéro, dans les deux cas, le même volume? En d'autres termes, n'est-on pas dans le cas d'un thermomètre à mercure qu'on chaufferait d'abord à la température de 360 degrés, puis qu'on refroidirait jusqu'à zéro, qu'on porterait ensuite à 100 degrés et qu'on ramènerait encore à zéro? Serait-on sûr que, dans toutes les circonstances, avec tous les verres, la pesée relative à ce point zéro ne changerait pas?

Il y a là un doute qu'on ne doit pas négliger. Pour être tout à fait rigoureux, il faudra faire varier la température du ballon de verre entre de faibles limites, par exemple de zéro à 15 ou 20 degrés, c'est-à-dire dans le voisinage de la température ambiante; il faudra aussi tenir compte de la faible, mais incontestable, solubilité du verre dans l'eau. Voici comment nous avons opéré :

Nous avons employé deux appareils de la forme représentée par la *fig.* 6.

Fig. 6.



B est une boule de cristal pouvant contenir de 4 à 5 kilogrammes de mercure dans l'intervalle limité par les robinets R' et R", y compris le canal du robinet R'.

Digitized by Google

On mesure exactement par une pesée hydrostatique le volume extérieur de l'appareil, après l'avoir entièrement rempli d'eau. On répète la même opération pour un appareil entièrement semblable, qui doit servir de tare. La différence qui existe entre eux est compensée par une boule de verre fermée de même nature, dans laquelle on a introduit du mercure en quantité telle qu'ils aient dans l'air exactement le même poids et le même volume.

On fait le vide dans ces deux appareils, et l'on emploie comme tare celui dont la capacité est la plus grande (quoique la différence doive être très-faible).

Quant à l'autre, celui qui doit servir à prendre la densité, on y fait le vide jusqu'à ce que l'étincelle ne passe plus dans le tube de contrôle rempli de sélénium qui communique avec la trompe de Sprengel, de manière à enlever jusqu'aux dernières traces d'air.

Alors, avec un tube de verre effilé, l'appareil étant tenu verticalement, on remplit de mercure l'espace compris entre l'extrémité A et le robinet R, puis on renverse cette extrémité dans une capsule contenant du mercure, et l'on ouvre sur ce mercure d'abord le robinet R. L'espace R*b*R′ doit se remplir intégralement. On ouvre le robinet R′; le mercure doit monter et, le robinet R″ étant fermé, on le laisse remplir toute la grande boule, à l'exception d'un espace à peu près égal au volume de la boule *b*. On ferme alors R′ et R.

On renverse de nouveau l'appareil, l'extrémité A se trouvant en haut, et l'on ouvre R′; le mercure qui était contenu dans la boule *b* rentre dans la grande boule et la remplit entre les robinets R′ et R″; en outre, une petite quantité de mercure doit rester dans la boule *b*, ainsi que dans le tube capillaire qui la joint à la boule B et porte le robinet R′. Cet excès de mercure doit être suffisant pour maintenir complétement pleine la boule B quand on entourera celle-ci de glace fondante.

On mastique alors sur la trompe de Sprengel l'extrémité A, on fait le vide de nouveau, d'abord entre R et A, puis entre R et R′, jusqu'à ce que l'étincelle ne passe plus dans le tube d'épreuve qui communique avec la trompe.

Si, par hasard, quelques bulles presque invisibles existaient dans la boule B, on les ramènerait facilement à la surface du mercure par

Digitized by Google

quelques chocs; mais cet accident, d'ailleurs sans importance, n'arrive jamais quand l'opération a été bien conduite.

Alors on introduit la boule B entre deux calottes hémisphériques en fer (*fig.* 7), dont les bords rabattus, ainsi que deux petits cylindres ménagés en haut et en bas, sont garnis de caoutchouc et se ferment avec des vis. La fermeture doit être assez hermétique pour que, en versant du mercure dans l'intervalle compris entre l'enveloppe de fer et la boule B, le liquide ne s'écoule pas au travers des plis du caoutchouc, surtout dans le petit cylindre inférieur. Cette disposition (¹) est destinée à empêcher la déformation que pourraient éprouver les parois du vase de verre sous la pression du mercure qu'il renferme.

Fig. 7.

La boule B, ainsi enveloppée, est placée dans un cylindre de fer-blanc, terminé en cône à sa partie inférieure et fermé par un bouchon percé d'un large trou (*fig.* 8).

Pour cela, la sphère formée par les deux calottes qui entourent le ballon B est suspendue par trois cordes qui se réunissent en une seule à la partie supérieure et s'accrochent à une moufle à l'aide de laquelle on peut aisément placer l'appareil dans le cylindre et l'en retirer.

Une porte P à charnière permet d'ouvrir largement le cylindre et d'atteindre le robinet R″ pour l'ouvrir ou le fermer à volonté.

On remplit le cylindre de fer-blanc avec de la glace, qu'on renouvelle pendant deux ou trois jours au moins, jusqu'à ce que le niveau du mercure ne descende plus dans la partie capillaire du tube situé au-dessus du robinet R′.

Tout l'appareil est entouré et recouvert d'un feutre épais.

Le robinet R′ est resté toujours ouvert pour permettre au mercure de

(¹) L'effet produit par cet appareil, auquel on n'a pas encore pensé, que nous sachions, est loin d'être négligeable.

Digitized by Google

la boule B de se dilater ou de se contracter suivant les changements de la température, et cette boule est toujours restée pleine au moyen de la réserve qui était renfermée dans la boule *b*. On ouvre le robinet R au dernier moment, pour donner au mercure la pression de l'atmosphère.

Fig. 8.

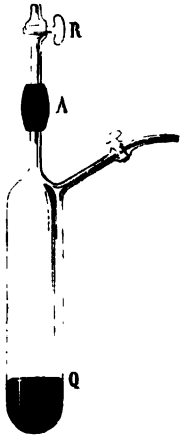
Après trois jours et trois nuits de séjour dans la glace, sans interruption, on ferme le robinet R′, on ouvre la porte P et, écartant la glace qui entoure le robinet R″, on l'ouvre avec précaution.

On peut alors, avec la moufle, soulever l'appareil et le laisser reprendre la température ambiante, après qu'on a détaché l'enveloppe de fer pleine de mercure qui l'entourait. Le mercure intérieur, étant répandu dans les deux boules B et *b′*, peut se dilater à l'aise; mais il reste encore dans la boule *b* de l'air et du mercure qu'il faut enlever.

Digitized by Google

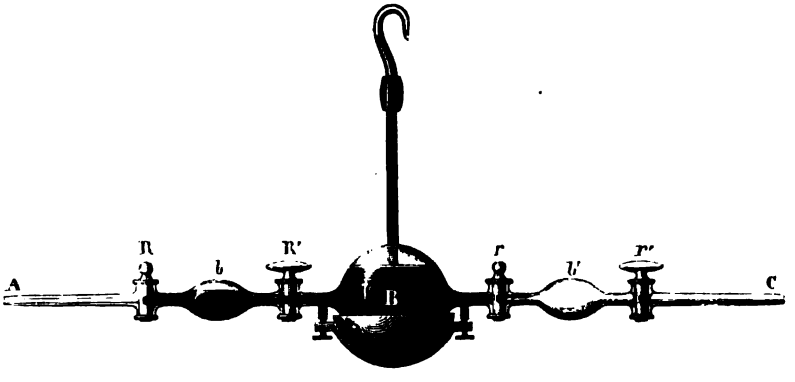
Pour cela, on mastique de nouveau l'extrémité A (*fig.* 8) sur la pompe de Sprengel, en introduisant entre l'appareil renversé et la pompe un petit réservoir Q (*fig.* 9), qui sera vidé exactement, ainsi que l'es-

Fig. 9.



pace AR. Quand le vide est parfait, on ouvre le robinet R lentement, et le mercure tombe dans le réservoir Q en même temps que la boule *b* se purge d'air. On ferme alors le robinet R, et l'on porte l'appareil sur la balance, en le soutenant avec une capsule en laiton (*fig.* 10) munie

Fig. 10.



elle-même d'une tige : celle-ci est terminée par un crochet qui s'attache au plateau de la balance.

La tare de l'appareil doit être faite, comme on l'a dit, par un autre

Digitized by Google

appareil tout semblable et de même volume extérieur. On y met du mercure jusqu'à ce que les poids soient égaux à quelques décigrammes près, opération qui peut s'effectuer sur une balance commune. Les deux capsules et les supports doivent être construits avec les mêmes métaux, ayant chacun exactement le même poids, et par conséquent le même volume.

On achève d'établir l'équilibre par des poids en platine.

On observe les variations de la balance pendant deux ou trois mois, deux fois par jour, soir et matin, en déterminant la température, la pression, le point de rosée, et faisant la courbe de ces variations, de manière à pouvoir ramener la moyenne de toutes les pesées à une certaine pression commune.

Enfin on remet le tube par son extrémité A en communication avec la pompe de Sprengel et l'on retire tout le mercure; on constate, ce qui arrive toujours à cause de la perfection des robinets de verre, que le vide est resté parfait. On remet le tube sur la balance, on rétablit l'équilibre avec des poids rigoureusement étalonnés dont la densité est bien connue, et l'on recommence les pesées pendant deux ou trois mois, en faisant les déterminations indiquées plus haut.

Dans ce dernier cas, les variations de poids sont bien plus grandes, parce que non-seulement la balance, mais l'effet des poids marqués eux-mêmes varie suivant une loi connue avec les circonstances atmosphériques.

On ramène alors la moyenne des poids par le calcul à ce qu'elle serait si la pression $\varpi = b_0 - \frac{3}{8} f - (t - \theta) 2,78$ avait été la même dans toutes les pesées.

Toutes ces opérations sont ensuite répétées sur une balance ne portant qu'un kilogramme, en remplaçant le mercure par l'eau qui a servi à jauger le tube thermométrique T. On amène cette eau à zéro en prenant les mêmes précautions. Seulement il est plus facile, dans le cas actuel, d'enlever toute l'eau excédante, parce qu'elle s'évapore dans le vide et qu'on l'absorbe par un tube de potasse intercalé entre la pompe de Sprengel et l'appareil.

Il faut, pour cette opération, conserver dans la boule *b* un excès d'eau beaucoup plus grand que celui qui suffirait à compenser la contraction du liquide lorsqu'on l'amène à zéro. Cette eau se volatili-

Digitized by Google

sera pendant l'exposition dans le vide qui sert à chasser l'air, et il doit en rester assez pour qu'on puisse constater qu'elle n'entre plus en ébullition, même sous l'influence d'une température de 25 degrés, ce qui est la preuve qu'elle est exactement dépouillée d'air.

On prend les mêmes précautions pour effectuer les pesées et déterminer la courbe des variations de la balance. Nous avons pu nous servir d'une excellente balance de M. Sacré, pesant 1 kilogramme, dont les variations avec la pression étaient extrêmement faibles, et qui appartient au Bureau international des poids et mesures.

En employant, pour le jaugeage du tube, des poids de même nature que pour la pesée du mercure, on peut, après les avoir ramenés à la même valeur de ϖ, faire le calcul de la densité sans tenir compte de la poussée de l'air. Les poids dont nous nous sommes servis ont été étalonnés par nous avec le plus grand soin et comparés avec le kilogramme de Fortin, appartenant à l'Observatoire de Paris. Mais ce qui leur donne une valeur inappréciable, c'est que toutes les comparaisons, avec les calculs qu'elles comportent, ont été répétées par M. le Dr Broch, de Christiania. Les résultats obtenus par le célèbre savant nous inspirent une confiance absolue.

On remarquera que, s'il est resté un peu de mercure adhérent au verre pendant l'opération qui consiste à vider les appareils, après qu'ils ont été pesés, cette circonstance ne doit nullement préoccuper : on peut, en effet, considérer ce mercure comme faisant partie de la tare et ne donnant lieu à aucune correction.

En résumé, un tube à densité B, plein de mercure à zéro, a été taré avec un autre tube de même volume et de même poids.

On a vidé ce tube B et l'on a remplacé par des poids marqués le mercure qu'il contenait. On a fait ensuite le vide à nouveau, et recommencé les pesées avec la même tare.

Le tube à densité étant ensuite rempli d'eau à zéro et taré, on a enlevé les poids marqués qui faisaient l'équilibre et obtenu ainsi le poids de l'eau à zéro qu'il contenait. La solubilité du verre dans l'eau n'a donc pu apporter à ces opérations aucun trouble sensible.

Une expérience nous a donné :

Poids du mercure à zéro	$3^{kg},86319680$
Poids de l'eau à zéro	$0^{kg},28410766$

Digitized by Google

Nous avons obtenu ainsi la densité du mercure par rapport à l'eau qui nous a servi à jauger le tube de platine iridié T, cette eau étant d'ailleurs absolument pure.

Densité du mercure :

Eau à zéro, mercure à zéro.....	13,59761
Eau à 4 degrés, mercure à zéro..	13,59620

C'est le résultat que nous admettrons dans nos calculs postérieurs.

Une autre expérience, dont le résultat est suspect, parce que nous avons confondu les deux robinets, R′ et R″, dont les canons n'avaient pas le même volume, a donné les nombres suivants :

Poids du mercure à zéro..... .	3^{kg}, 97679448
Poids de l'eau à zéro.....	0^{kg}, 29216816

d'où l'on déduit, pour la densité du mercure à zéro, par rapport à l'eau à zéro,

13,6113;

pour la densité du mercure à zéro, par rapport à l'eau à 4 degrés,

13,6067.

Nous ne transcrivons ces chiffres que pour fournir une preuve de l'exactitude avec laquelle a été déterminé le jaugeage de nos appareils.

Une première opération, en effet, nous a donné pour le poids de l'eau à zéro contenue dans notre ballon

292^{gr}, 16815;

une seconde opération,

292^{gr}, 16817,

en ramenant les poids à ce qu'ils seraient pour une même valeur de ϖ.

En prenant la densité du même mercure dans un petit appareil en verre de la forme d'un gros thermomètre muni d'un robinet en haut de sa tige, opérant sur 129^{gr}, 27625 et faisant les pesées avec une balance de M. Sacré sensible au centième de milligramme, nous avons obtenu, pour la densité du mercure pris à zéro, par rapport à l'eau à 4 degrés,

13, 5978.

Digitized by Google

car la croûte terrestre est constamment en mouvement; les longueurs des bases changent ou peuvent changer par suite de mouvements intestins, tremblements de terre, élévation ou abaissement lent du sol. Une règle géodésique ne peut donc être définie par son rapport avec une base terrestre, si bien mesurée qu'elle soit, comme la base de Melun ou la base de Perpignan sur laquelle le général Ibañez, notre président, nous a lu l'année dernière un si beau travail.

Les résultats qui nous ont été communiqués, dans cette session (de Hambourg), par M. Andrae et d'autres membres de l'Association géodésique, rendent chaque jour plus frappante l'indétermination que comporte le choix d'une pareille base.

Si l'on prend la distance entre deux traits placés sur une barre métallique, on néglige les variations dont cette barre est susceptible dans sa constitution intime et dont M. Wild nous a fait un exposé complet.

Toutes les substances capables d'être trempées, comme le verre et l'acier, changent de dimensions avec le temps. D'autres, comme le zinc et le fer, qui peuvent cristalliser par les variations de température, sont encore dans le même cas. Le quartz hyalin, d'après les travaux de M. Wild, paraît échapper à cette mobilité de forme et, par suite, de densité. Le platine iridié se comporte-t-il comme l'acier et le zinc ou comme le quartz? Nous résoudrons cette question en déterminant avec la plus grande précision possible la quantité d'eau à zéro que l'un de nos tubes (T) peut contenir. Après toutes nos expériences, après avoir fait varier entre des limites très-étendues la température à laquelle aura été porté le métal, nous jaugerons de nouveau notre tube avec de l'eau à zéro : pour chaque variation de 3,11 milligrammes dans le poids de l'eau il y aura une variation correspondante d'un millième de millimètre dans la longueur comprise entre les deux traits.

En vous proposant de prendre un cylindre de platine iridié, cylindre aussi parfait que possible, susceptible d'être nivelé dans toute son étendue, terminé par deux calottes dont l'une porte à son pôle un tube capillaire en platine iridié, composé avec la même matière et fabriqué de la même manière que votre règle géodésique, nous vous proposons un système de contrôle pour la permanence des propriétés physiques et de la longueur de cette règle. Nous vous donnons ensuite, par la variation de la quantité d'eau à zéro contenue dans ce tube

Digitized by Google

témoin, les éléments du calcul qui permettra d'en connaître à toute époque la longueur primitive.

C'est, en somme, remplacer une mesure de longueur par une mesure de poids, et nous remplaçons aussi la pesée d'un corps submergé, opération toujours grossière, par un jaugeage, lequel peut être aussi parfait que la balance le permet et surtout le permettra.

Quand cette opération aura été faite à la température de la glace fondante avec toute l'exactitude dont elle est susceptible aujourd'hui, le poids de cette eau sera représenté par une masse cylindrique de platine iridié qui lui fera équilibre, à $\frac{1}{10}$ de milligramme près, sur une balance placée dans le vide.

Pour plus de sécurité, ce cylindre de platine pourra être enfermé dans un cylindre de verre vide et fermé à la lampe. Il y a des exemples de la conservation pendant plus de quinze siècles de tubes ainsi fermés et contenant même un liquide.

Mais l'expérience que nous avons acquise en faisant depuis plus de trois ans des pesées répétées trois ou quatre fois par jour nous prouve que les balances placées dans l'air ne peuvent atteindre avec sécurité la précision nécessaire, ou plutôt que les pesées à l'air libre ne peuvent avoir une constance suffisante.

On ne peut admettre, sans démonstration, que les deux parties du fléau seront toujours à la même température, et il suffit d'une variation de température bien faible pour allonger ou raccourcir un fléau de $\frac{1}{5\,000\,000}$ de sa longueur. Il faut donc que ce fléau soit maintenu à une température invariable, c'est-à-dire entouré de glace. Mais alors la cage de la balance serait parcourue par des courants d'air, si sa base n'était pas elle-même à zéro, ce qui serait bien difficile à réaliser. En outre, si la matière qui compose le fléau n'est pas distribuée d'une façon rigoureusement symétrique par rapport à la ligne verticale qui passe par son centre de gravité, condition qu'on ne peut exiger, la balance subira, par l'influence des changements de température, de pression et d'état hygrométrique de l'air ambiant, des effets qu'il serait impossible de calculer exactement.

Nous avons tourné la question en déterminant la courbe des variations de notre balance par des observations qui ont duré souvent plus d'une année, mais ce moyen n'est pas radical.

Digitized by Google

Nous avons entouré notre balance d'une enveloppe de cuivre qui répartit la chaleur d'une manière assez uniforme sur toute la longueur du fléau; cette précaution, utile certainement, est encore insuffisante. Il faut donc que le fléau soit maintenu à la température de zéro et qu'il soit placé dans le vide.

Laissant de côté pour le moment les questions fort délicates qui se rattachent à la construction des balances, la nécessité, par exemple, même dans les meilleurs instruments, d'y placer les poids de façon que leur centre de gravité passe toujours par le centre de gravité du plateau, cette autre circonstance que les couteaux des extrémités ne sont pas suffisamment assujettis à se placer de la même manière par rapport aux plans qu'ils supportent, d'où il résulte qu'en mettant plusieurs fois de suite la balance en repos, puis en mouvement, pour la même charge, on n'obtient pas la même déviation de l'aiguille, etc., nous avons combiné et nous vous proposons une balance construite d'après le principe suivant.

La balance possédérait un fléau tout en acier, préparé de telle sorte que les couteaux puissent être pris dans la masse même. Ce fléau serait placé dans une enveloppe en tôle épaisse entourée de glace qui l'enserrerait de très-près, afin que le volume à refroidir soit aussi petit que possible. Le mécanisme serait placé tout près du couteau central. Les organes essentiels de la balance occuperaient donc un très-petit volume, les aiguilles et les cadrans étant situés aux extrémités du fléau. Un long cylindre en verre, mastiqué à une ouverture de la cage près de l'une des extrémités, permettrait de suspendre à l'un des crochets de la balance le tube T de platine iridié. De l'autre côté se trouverait le plateau supportant les poids. Ce plateau, suspendu par un fil d'acier, serait placé dans une sorte de sas, pouvant être mis en communication avec l'intérieur de la balance, ou maintenu isolé, au moyen d'un gros robinet de verre dont le canon serait traversé par le fil qui supporterait le plateau. Un mécanisme facile à imaginer permettrait de détacher ce fil et de fermer le robinet quand on voudrait ouvrir le sas pour ajouter ou enlever des poids, le vide restant parfait dans la cage; il suffirait donc de purger le sas après chaque opération.

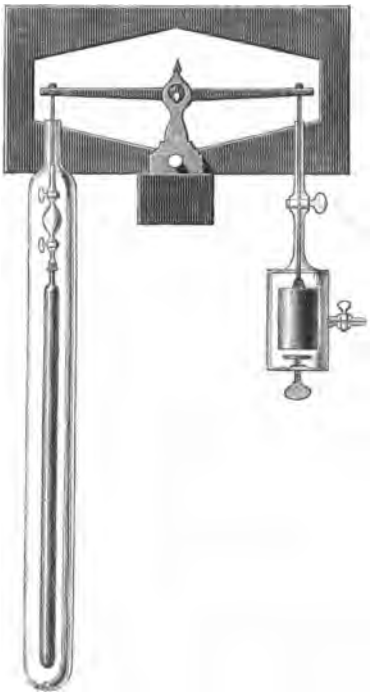
La figure théorique 12 donne une idée de l'appareil. Nous avons demandé au gouvernement français les fonds nécessaires pour le

Digitized by Google

construire; mais, si notre projet paraît réalisable, nous serions très-heureux que d'autres que nous en fissent la tentative.

Le fléau en acier serait soustrait à l'action du magnétisme terrestre par son enveloppe en tôle de fer; de cette façon, l'emploi d'une matière aussi légère, aussi élastique et aussi rigide que l'acier, ne présenterait plus aucun inconvénient.

Fig. 12.



Une pareille balance débarrasse l'opérateur de toutes les erreurs qu'il peut commettre, en observant le thermomètre, le baromètre et l'hygromètre, et de tous les calculs nécessaires pour corriger les résultats donnés par les instruments.

Mais il y a un problème dont nous n'avons pas abordé l'étude : c'est celui qui concerne la déformation du tube témoin et de la règle géodésique elle-même.

Un cylindre parfait d'une section circulaire est difficile à niveler, ou au moins son nivellement est une opération très-délicate. Cependant

Digitized by Google

MM. Brunner frères ne trouvent pas impossible de fabriquer un cylindre avec le platine iridié et d'en vérifier l'horizontalité par l'emploi des niveaux. Dans ce cas, toute déformation produite à sa surface serait immédiatement sensible et même mesurable.

Pour rendre plus facile le nivellement de la règle thermométrique, nous avons demandé à M. Matthey de vouloir bien construire des règles creuses et prismatiques à base carrée, terminées par des surfaces planes à leurs deux extrémités. A l'un des bouts est fixé par la soudure autogène un tube capillaire s'ouvrant à l'intérieur et à l'extérieur, et susceptible d'être relié à un voluménomètre. M. Matthey en a mis de très-beaux spécimens à l'Exposition de 1878.

Des règles de cette forme peuvent avoir la longueur et les dimensions que l'on veut. Étant creuses et terminées par un tube capillaire, elles peuvent servir de thermomètres à air et donner elles-mêmes leur propre température.

Elles peuvent se niveler avec la plus grande facilité, et il ne serait pas étonnant qu'un jour on construisît ainsi des règles géodésiques rigides, légères et fort économiques, n'ayant pas besoin de divisions, de supports en laiton gradué servant de thermomètre imparfait et surtout pouvant fournir elles-mêmes leur température avec une précision inconnue jusqu'ici. Mais ces questions sont prématurées, et leur étude viendra en son temps.

Avant de conclure, nous désirons poser la question de la conservation de notre témoin et de la manière dont on doit le soutenir pour qu'il ne fléchisse pas sous son poids.

La plupart des substances connues, et surtout celles qui paraissent les plus dures et les plus cassantes, le verre par exemple, l'acier, le fer, sous forme de fils ou de règles, ne conservent pas leur longueur lorsqu'on les suspend verticalement ou se courbent sous leur propre poids quand on les supporte par leurs extrémités.

M. Wertheim a remarqué aussi que la torsion d'une règle, quelque faible qu'elle soit, est toujours accompagnée d'un effet permanent.

M. Vicat a vu un fil, placé à l'abri de toute secousse et tendu par un poids égal au tiers et même au quart de celui qui produirait sa rupture instantanée, s'allonger pendant des années avant d'atteindre la limite d'extension. Des lames minces de verre ou d'acier, assez longues

Digitized by Google

pour fléchir sous leur propre poids, finissent par contracter une courbure permanente quand elles sont appuyées obliquement.

Savart, en faisant vibrer dans le sens de sa longueur un fil métallique chargé d'un poids, dit l'avoir vu s'allonger de $\frac{1}{15}$ de sa longueur primitive tant que duraient les vibrations et conserver ensuite un allongement permanent que n'avait pu produire la charge.

Il résulte encore des expériences de M. Wiedemann que, si l'on tend une règle par des poids ou même par son propre poids, il reste le plus souvent un peu de flexion permanente, que la méthode très-précise du miroir permet de constater.

Notre opinion est que le tube cylindrique témoin de la règle géodésique doit être couché sur du velours fait avec du coton écru ou avec du fil de platine extrêmement fin. En tout cas, nous ne conseillerons jamais de le suspendre sur deux rouleaux. On pourrait craindre qu'au bout d'un plus ou moins grand nombre d'années il ne se produisît une courbure dont la flèche, d'abord insensible, augmenterait lentement avec le temps.

Un cylindre creux est le corps qui, sous le poids le plus petit, supporte, sans se déformer, le plus grand effort : c'est la forme des os. Nous croyons qu'une règle de cette forme est plus capable que toute autre de résister à son propre poids et à des pressions extérieures. Néanmoins nous croyons aussi qu'il sera prudent de la supporter dans toute son étendue.

On pourrait encore la suspendre verticalement, en compensant le poids des différentes parties par des contre-poids placés à de petites distances les uns des autres et maintenus à l'aide d'une légère pression. Ce serait la meilleure disposition à adopter pour étudier journellement, au moyen de microscopes horizontaux, les variations de sa longueur avec la température.

Mais c'est là un projet de comparateur à mouvement vertical que nous ne faisons qu'indiquer, sauf à le développer plus tard, s'il est praticable et s'il mérite de fixer l'attention des constructeurs.

Ajoutons quelques remarques sur la purification de l'eau distillée et du mercure que nous avons employés.

Digitized by Google

L'eau, distillée avec un peu de sulfate d'alumine, distillée de nouveau avec un peu de permanganate de potasse, est enfin distillée seule et condensée dans un serpentin en platine. On doit la conserver également dans le platine et ne s'en servir qu'après l'avoir fait bouillir longtemps et l'avoir refroidie rapidement. Elle ne doit laisser aucun résidu par évaporation.

Le mercure doit être distillé dans un courant d'air et dans une cornue de fer. On le laissera ensuite longtemps en contact avec de l'acide sulfurique et du sulfate de mercure. En l'évaporant dans un moufle à basse température, chassant ensuite le peu d'oxyde de mercure qui reste par l'action d'une température plus élevée, le résidu devra être nul.

Nous terminerons ce Mémoire par une description succincte du procédé destiné à fixer d'une manière indépendante de toute grandeur variable avec le temps la longueur du millimètre qui nous servira d'unité.

Dans l'appareil employé pour déterminer le coefficient de dilatation du platine iridié, le tube le plus étroit (t), qui sert de témoin temporaire et qui est plongé constamment dans la glace, porte à chaque extrémité, au lieu d'un trait unique, un millimètre divisé en dixièmes. Après avoir pointé, par exemple, les deux traits du gros tube à une température quelconque, on amène le tube témoin sous les microscopes et l'on pointe à chaque extrémité la division du millimètre qui se trouve la plus rapprochée du croisement des fils. Comme la valeur du tambour micrométrique en fonction du millimètre divisé est facile à évaluer par expérience, on connaît donc en fonction des millimètres tracés sur le tube témoin la dilatation qu'a éprouvée le gros tube entre deux températures successives, telles que zéro et 100 degrés.

On a supposé implicitement que les deux millimètres sont identiques. Cette identité est très-probable, puisque les millimètres ont été tracés par la même machine et à la même époque. Toutefois, il est facile d'en vérifier l'exactitude en pointant les microscopes sur deux divisions, puis en répétant un nouveau pointé après avoir fait glisser l'auge d'une petite quantité dans le sens de sa longueur. La mesure de ce déplacement par les deux microscopes doit être la même.

Digitized by Google

Il faut connaître maintenant, par une comparaison plus ou moins directe, la valeur exacte de ces millimètres tracés sur le tube témoin.

Ces comparaisons sont nécessaires quand on se place au point de vue des mesures absolues; il faudrait même aller plus loin, et rapporter la dilatation du tube principal à une unité de mesure qui serait complétement indépendante des instruments qui ont été employés pour la déterminer.

L'unique longueur dans la nature qui paraisse absolument invariable, et qui est à portée de tous les expérimentateurs, est la longueur d'onde d'une lumière parfaitement définie. Il y a longtemps qu'Arago a indiqué ce moyen pour comparer l'unité de mesure à une grandeur que toutes les perturbations qui peuvent se produire sur la terre ne sauraient modifier. Les progrès qu'a faits l'analyse spectrale de la lumière dans ces dernières années rendent aujourd'hui très-facile ce genre de comparaisons.

L'un des millimètres du tube témoin sera d'abord comparé avec un autre millimètre tracé sur une petite plaque de métal. Le nouveau millimètre ayant été tracé avec la même machine et dans les mêmes conditions, son identité avec le précédent sera sans doute assez grande pour que toute différence échappe aux moyens de comparaison les plus précis. On vérifie d'ailleurs cette identité en plaçant le tube témoin dans son auge, et le millimètre nouveau dans la cuve du grand tube, de façon que le chariot puisse l'amener sous l'un des microscopes. En maintenant les deux instruments dans la glace fondante, on les visera alternativement avec le microscope.

Pour comparer maintenant ce millimètre à la longueur d'onde d'une lumière bien définie, la disposition employée est la suivante :

Une boîte métallique parfaitement close, renfermant divers organes que nous allons indiquer, est munie d'un certain nombre de tubulures, fermées par des glaces, qui permettent d'y faire pénétrer la lumière pour produire des anneaux de Newton, d'en varier le nombre à volonté au moyen d'une vis micrométrique, et de mesurer le déplacement correspondant des surfaces entre lesquelles se manifeste le phénomène. Cette boîte est constamment entourée de glace fondante, et l'on y fait le vide absolu, de manière qu'aucune correction ne doit être apportée aux mesures.

Digitized by Google

La lumière qu'il faut employer pour ce genre d'expériences est, non pas celle du sodium, mais une flamme colorée par un sel de lithine ou un sel de thallium. Avec quelques précautions relatives à la température de la flamme et à la quantité de sel qu'on y introduit, on obtient ainsi des sources absolument homogènes.

Les anneaux sont produits entre deux verres sensiblement plans, et on les observe avec une lunette à réticule.

L'un des verres est commandé par un chariot qui peut le déplacer d'une manière continue et très-lentement, de façon que l'on puisse compter exactement le nombre des anneaux qui passent en un point déterminé.

Le chariot entraîne avec lui le millimètre divisé auquel on a déjà comparé les divisions du tube témoin.

Enfin un microscope intérieur, fixé à la boîte, vise les traits de ce millimètre et permet de connaître exactement le déplacement qui correspond au passage d'un nombre d'anneaux déterminé.

Cet appareil, dont nous ne pouvons donner ici que le principe, est en construction. MM. Brunner ont imaginé à cette occasion plusieurs dispositions très-ingénieuses, entre autres l'introduction d'un petit moteur électro-magnétique dans l'intérieur de la boîte, pour commander le déplacement du chariot. La vitesse du mouvement est réglée de telle façon que l'observateur qui vise le passage des anneaux puisse les compter sans fatigue.

On voit aisément que cet appareil donne le moyen de connaître la longueur du millimètre étudié, à la température de zéro, en fonction d'une longueur d'onde, et que la dilatation du tube principal sera exprimée au moyen de la même unité.

CONCLUSIONS.

Les principes que nous voulons établir, en effectuant le travail qui nous a été confié par l'Association géodésique internationale, nous paraissent devoir être adoptés dans toutes les opérations qui concernent la métrologie, ou, si l'on aime mieux, la micrométrie.

Dans cette partie de la science, rien ne peut être admis sans détermi-

Digitized by Google

nation précise, directe et indépendante de l'emploi de tout instrument ayant une valeur individuelle. Rien ne peut donc être considéré, en micrométrie, comme évident.

Cependant nous admettrons comme axiome que la température de la glace est invariable avec le temps. D'après les travaux de sir William Thomson, il n'en pourrait être autrement que si la pression atmosphérique ou l'accélération due à la pesanteur changeait de telle façon que les conditions de la vie humaine cessassent d'exister sur la terre. Nous avons prouvé, par un procédé dont l'exactitude dépasse tous ceux qui ont été employés jusqu'ici, que la température de la glace fondante produite par la glace longtemps conservée dans une glacière est rigoureusement invariable.

Nous admettrons comme axiome que la densité de l'eau est invariable avec le temps, et cela pour les mêmes raisons et sous les mêmes conditions que la fusion de la glace.

Nous admettrons que la densité du mercure à zéro ne varie pas avec le temps, et que ce métal peut servir indéfiniment à mesurer les pressions des gaz qui servent de matière thermométrique. En employant le mercure seulement pour constater l'identité des pressions de deux gaz dont l'un est confiné dans un espace invariable, nous nous affranchissons des mesures du baromètre, et, par suite, des corrections qu'il faut apporter à la mesure des hauteurs pour annuler l'influence de la température, de la latitude et des variations de la pesanteur.

Nous admettrons qu'une masse de platine iridié ne perd aucune partie de sa substance par volatilisation à la température ordinaire. A la rigueur, ce principe, qui peut paraître évident, devrait être démontré; mais il est clair qu'aucun procédé de mesure ne pourrait aujourd'hui être appliqué à la détermination de la tension de vapeur du platine iridié au-dessous de 100 degrés. Cependant nous croyons utile, mais aussi pour d'autres raisons, de renfermer dans une enveloppe de verre vide d'air et fermé à la lampe la masse de platine iridié qui doit servir de témoin pour constater la variabilité ou la permanence des propriétés physiques de la règle géodésique.

Enfin nous admettrons que la longueur d'onde du rayon rouge de la lithine ou vert du thallium est invariable avec le temps, de sorte qu'au moyen du millimètre dont la longueur aura été exprimée par le nombre

Digitized by Google

de franges qu'on peut compter entre ses deux traits extrêmes, les indications de notre micromètre seront indépendantes de toute valeur individuelle de l'instrument.

Ainsi rien n'est laissé à la pure appréciation : tous nos instruments devront pouvoir être reproduits, perfectionnés, sans que rien manque au contrôle absolu des opérations. Les unités choisies sont invariables avec le temps; et il sera toujours possible de répéter nos expériences tant qu'on aura du platine, de l'iridium, de la glace, du mercure et les instruments nécessaires à la production des phénomènes d'interférence.

5045 PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, QUAI DES AUGUSTINS, 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

CABOT SCIENCE LIBRARY
CANCELLED
CABOT
APR 0 4 2007
NOV 0 3 2006
BOOK DUE

Digitized by Google

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

Digitized by Google

Eng 498.79
Sur la construction de la regle g
Cabot Science
006850786
3 2044 092 014 257

Digitized by Google